

# La modélisation en Physique : un outil trop performant ?

Manuel COMBES

Centre Européen de Réalité Virtuelle

[combes@enib.fr](mailto:combes@enib.fr)

16 mars 2010



# Introduction

## Dictionnaire Culturel de la Langue Française :

- **Modèle :**

*Représentation simplifiée d'un système ou d'un phénomène physique, permettant de reproduire son fonctionnement, de l'**analyser**, de l'**expliquer**, et d'en **prédire** certains aspects.*

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie
  - Epistémologie

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie
  - Epistémologie
- Utiliser un modèle en Physique

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie
  - Epistémologie
- Utiliser un modèle en Physique
- Trois modèles célèbres en Physique

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie
  - Epistémologie
- Utiliser un modèle en Physique
- Trois modèles célèbres en Physique
  - Le rayon lumineux

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie
  - Epistémologie
- Utiliser un modèle en Physique
- Trois modèles célèbres en Physique
  - Le rayon lumineux
  - Le modèle de l'atome

# Plan

- Modèles : de quoi parle-t-on ?
  - Sémantique
  - Ontologie
  - Epistémologie
- Utiliser un modèle en Physique
- Trois modèles célèbres en Physique
  - Le rayon lumineux
  - Le modèle de l'atome
  - Le refroidissement de la planète Terre

# De quoi parle-t-on ?

# De quoi parle-t-on ?

Cette première partie a été tirée des ouvrages suivants :

- *Models in Science*, Roman FRIGG,  
*Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2006.  
<http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>
- *La notion de modèle en physique théorique*,  
Gilles COHEN-TANNOUJJI  
*Enquête sur le concept de modèle*, sous la dir. de Pascal NOUVEL,  
PUF mai 2002 (p 29-42).
- *Logique et connaissance scientifique*, sous la dir. de Jean PIAGET,  
Encyclopédie de la Pléiade, 1967.

# De quoi parle-t-on ?

- Sémantique
  - Modèles de phénomènes
  - Modèles de données
  - Modèles de théories

# De quoi parle-t-on ?

- Sémantique
  - Modèles de phénomènes
  - Modèles de données
  - Modèles de théories
  
- Ontologie
  - Objets physiques
  - Objets fictifs

# De quoi parle-t-on ?

- Sémantique
  - Modèles de phénomènes
  - Modèles de données
  - Modèles de théories
- Ontologie
  - Objets physiques
  - Objets fictifs
- Epistémologie
  - Apprendre sur le modèle
  - Apprendre sur le réel
  - Modèle et théorie

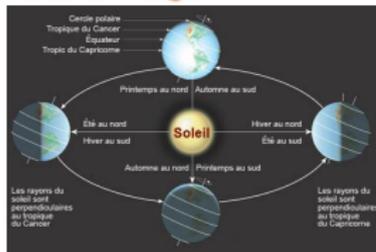
# Sémantique (1) Modèles de phénomènes

- Modèles de phénomènes :  
→ fonction **descriptive**
  
- **Modèles d'échelle** :  
modèle réduit d'un avion,  
modèle agrandi d'une fourmi



# Sémantique (1) Modèles de phénomènes

- Modèles de phénomènes :  
→ fonction **descriptive**
- **Modèles d'échelle** :  
modèle réduit d'un avion,  
modèle agrandi d'une fourmi
- **Idéalisations** : Aristote  
(isolation) et Galilée (distorsion)



# Sémantique (1) Modèles de phénomènes

- Modèles de phénomènes :  
→ fonction **descriptive**
- **Modèles d'échelle** :  
modèle réduit d'un avion,  
modèle agrandi d'une fourmi
- **Idéalisations** : Aristote  
(isolation) et Galilée (distorsion)
- **Analogies** : utilité heuristique

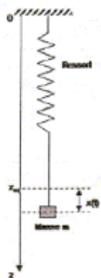
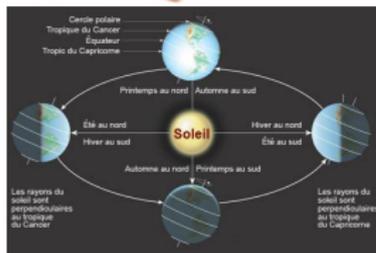


Figure 1

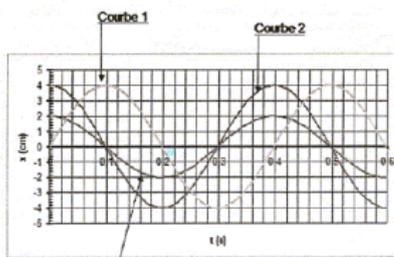
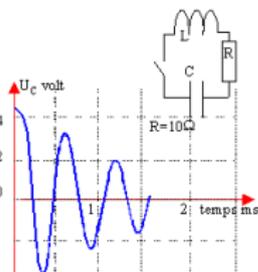


Figure 3

Figure 2



## Sémantique (2) Modèles de données

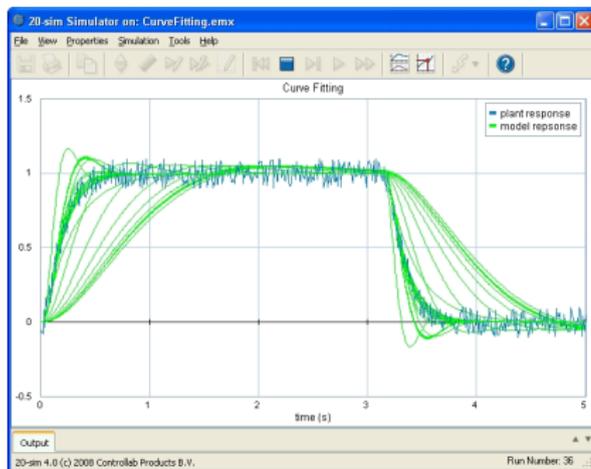
- Modèles de données :
  - > fonction de **quantification** et d'**organisation**
    - réduction de données

## Sémantique (2) Modèles de données

- Modèles de données :
  - fonction de **quantification** et d'**organisation**
- réduction de données
- ajustement par une fonction

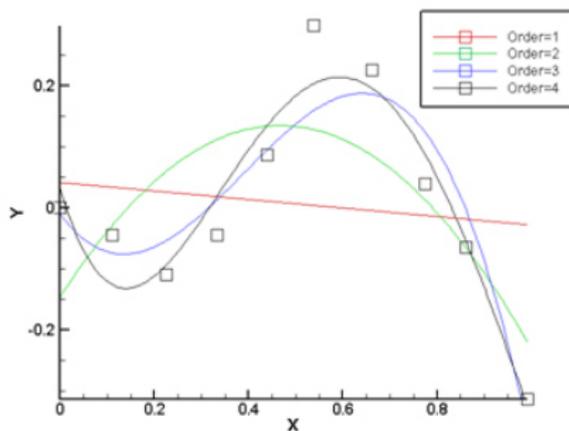
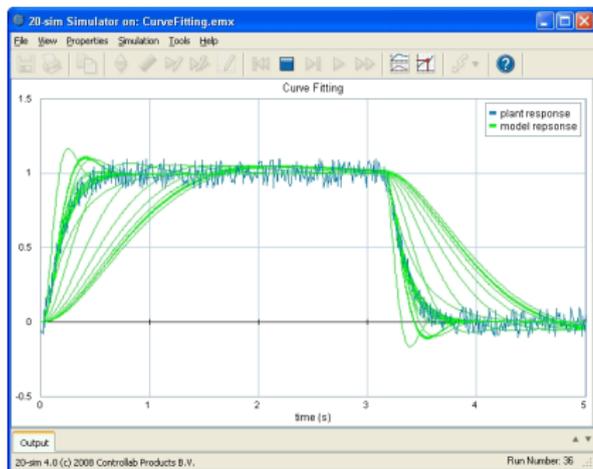
# Sémantique (2) Modèles de données

- Modèles de données :
  - fonction de **quantification** et d'**organisation**
    - réduction de données
    - ajustement par une fonction



# Sémantique (2) Modèles de données

- Modèles de données :  
 → fonction de **quantification** et d'**organisation**
  - réduction de données
  - ajustement par une fonction



## Sémantique (3) Modèles de théorie

- Modèles de théorie : fonction de **support**
  - **Théorie** : ensemble d'énoncés d'un langage vrais dans ce paradigme.

## Sémantique (3) Modèles de théorie

- Modèles de théorie : fonction de **support**
  - **Théorie** : ensemble d'énoncés d'un langage vrais dans ce paradigme.
  - **Modèle** : Structure dans laquelle tout énoncé d'une théorie est vrai.

## Sémantique (3) Modèles de théorie

- Modèles de théorie : fonction de **support**
  - **Théorie** : ensemble d'énoncés d'un langage vrais dans ce paradigme.
  - **Modèle** : Structure dans laquelle tout énoncé d'une théorie est vrai.
  - **Exemple** : géométrie euclidienne

*theorie = postulats + axiomes*

*modele = Univers + Operateurs + Relations*

# Ontologie (1) Objets physiques

- Plans, carte, modèle réduit, hélice d'ADN en plastique...



# Ontologie (1) Objets physiques

- Plans, carte, modèle réduit, hélice d'ADN en plastique...



# Ontologie (1) Objets physiques

- Plans, carte, modèle réduit, hélice d'ADN en plastique...



ememain.be

# Ontologie (1) Objets physiques

- Plans, carte, modèle réduit, hélice d'ADN en plastique...



2ememain.be

# Ontologie (1) Objets physiques

- Plans, carte, modèle réduit, hélice d'ADN en plastique...



[ememain.be](http://ememain.be)



## Ontologie (2) Objets fictifs

- Les objets fictifs n'ont pas besoin d'être expérimentés pour remplir leur fonction d'explication du réel.

## Ontologie (2) Objets fictifs

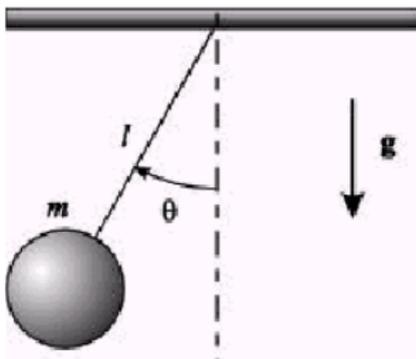
- Les objets fictifs n'ont pas besoin d'être expérimentés pour remplir leur fonction d'explication du réel.
- On tire des propriétés de ces modèles par déductions et manipulations cohérentes.

## Ontologie (2) Objets fictifs

- Les objets fictifs n'ont pas besoin d'être expérimentés pour remplir leur fonction d'explication du réel.
- On tire des propriétés de ces modèles par déductions et manipulations cohérentes.
- **Exemple** : système isolé, mouvement sans frottement, modèles planétaires de l'atome...

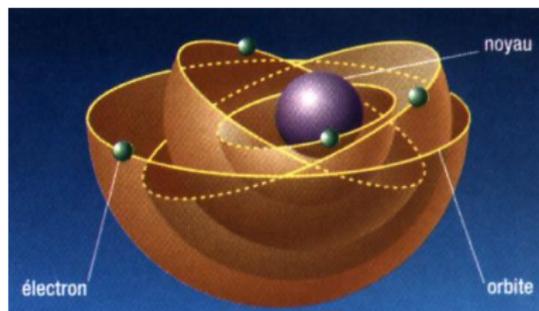
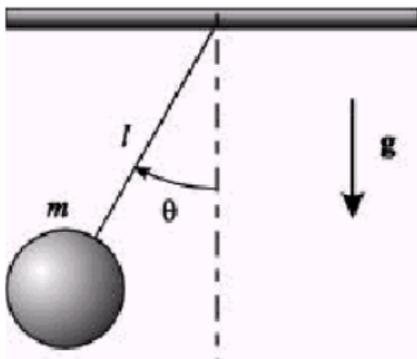
## Ontologie (2) Objets fictifs

- Les objets fictifs n'ont pas besoin d'être expérimentés pour remplir leur fonction d'explication du réel.
- On tire des propriétés de ces modèles par déductions et manipulations cohérentes.
- **Exemple** : système isolé, mouvement sans frottement, modèles planétaires de l'atome...



## Ontologie (2) Objets fictifs

- Les objets fictifs n'ont pas besoin d'être expérimentés pour remplir leur fonction d'explication du réel.
- On tire des propriétés de ces modèles par déductions et manipulations cohérentes.
- **Exemple** : système isolé, mouvement sans frottement, modèles planétaires de l'atome...



# Epistémologie (1) Apprendre par les modèles

- La science est en grande partie étudiée via des modèles (théoriques, empiriques...)

# Epistémologie (1) Apprendre par les modèles

- La science est en grande partie étudiée via des modèles (théoriques, empiriques...)
  
- Peut-on aussi apprendre par les modèles ?

# Epistémologie (1) Apprendre par les modèles

- La science est en grande partie étudiée via des modèles (théoriques, empiriques...)
- Peut-on aussi apprendre par les modèles ?
- Démarche en 3 étapes :
  - Créer le modèle d'un phénomène réel
  - Apprendre sur le modèle
  - Apprendre sur le phénomène réel

## Epistémologie (2) Apprendre sur un modèle

- Apprendre par la **construction** du modèle :  
→ tri, hiérarchisation, souci de cohérence

## Epistémologie (2) Apprendre sur un modèle

- Apprendre par la **construction** du modèle :  
→ tri, hiérarchisation, souci de cohérence
- Apprendre par la **manipulation** du modèle :  
→ tests, données quantitatives

## Epistémologie (2) Apprendre sur un modèle

- Apprendre par la **construction** du modèle :  
→ tri, hiérarchisation, souci de cohérence
- Apprendre par la **manipulation** du modèle :  
→ tests, données quantitatives
  
- Avantages : reproductibilité, flexibilité, **puissance de calcul** !  
→ Un outil **performant** !

## Epistémologie (2) Apprendre sur un modèle

- Apprendre par la **construction** du modèle :  
→ tri, hiérarchisation, souci de cohérence
- Apprendre par la **manipulation** du modèle :  
→ tests, données quantitatives
  
- Avantages : reproductibilité, flexibilité, **puissance de calcul** !  
→ Un outil **performant** !
- Inconvénients : discrétisation obligatoire, tentation de complexifier un modèle immature...  
→ Un outil **trop performant** ?

## Epistémologie (3) Apprendre sur le réel

- Pour un phénomène, plusieurs modèles.  
Donc plusieurs types d'apprentissage !

## Epistémologie (3) Apprendre sur le réel

- Pour un phénomène, plusieurs modèles.  
Donc plusieurs types d'apprentissage !
- Tout modéliser ? "On y trouve ce qu'on y place" !

## Epistémologie (3) Apprendre sur le réel

- Pour un phénomène, plusieurs modèles.  
Donc plusieurs types d'apprentissage !
- Tout modéliser ? "On y trouve ce qu'on y place" !
- Se prémunir contre les biais de modélisation :  
exemple de l'auto-organisation (modèles de molécules).

## Epistémologie (3) Apprendre sur le réel

- Pour un phénomène, plusieurs modèles.  
Donc plusieurs types d'apprentissage !
- Tout modéliser ? "On y trouve ce qu'on y place" !
- Se prémunir contre les biais de modélisation :  
exemple de l'auto-organisation (modèles de molécules).
- Le lien entre le réel et le modèle varie selon les choix du modélisateur.  
→ Ex : une idéalisation n'est pas un modèle réduit !

## Epistémologie (4) Modèle et vérité

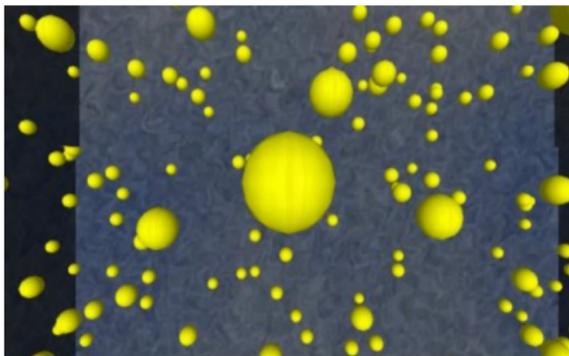
*"Il n'y a pas de contradiction, mais intime corrélation, entre le souci du détail concret propre à la description ethnographique, et la validité et la généralité que nous revendiquons pour le modèle construit d'après celle-ci.*

*On peut en effet concevoir beaucoup de modèles différents, mais commodes [...] pour décrire et expliquer un groupe de phénomènes. Néanmoins, le meilleur sera toujours le modèle vrai, c'est-à-dire celui qui, tout en étant le plus simple, répondra à la double condition de n'utiliser d'autres faits que ceux considérés, et de rendre compte de tous."*

**(Claude Lévy-Strauss, *Anthropologie structurale*, p. 307-308).**

# Utiliser un modèle

# Utiliser un modèle en Physique : objectifs



- Décrire un phénomène réel en le **simplifiant** :  
→ Tri à opérer. **Ex** : activité d'une ville, comportement d'un gaz...
- **Flexibilité** des paramètres
- Retour sur la modélisation (**bouclage**)

# Utiliser un modèle en Physique : méthodes

Modélisation



Expérience



Modélisation

# Utiliser un modèle en Physique : résultats et **limites**

## Un outil trop performant ?

Un modèle donnera des résultats différents selon les choix faits par le modélisateur !

-> A-t-on mis des biais dans le modèle ?

# Utiliser un modèle en Physique : résultats et limites

## Un outil trop performant ?

Un modèle donnera des résultats différents selon les choix faits par le modélisateur !

-> A-t-on mis des biais dans le modèle ?

- Système **homogène** ? **hétérogène** ?



# Utiliser un modèle en Physique : résultats et limites

## Un outil trop performant ?

Un modèle donnera des résultats différents selon les choix faits par le modélisateur !

→ A-t-on mis des biais dans le modèle ?

- Système **homogène** ? **hétérogène** ?
- Système **ordonné** ? **désordonné** ?



# Utiliser un modèle en Physique : résultats et limites

## Un outil trop performant ?

Un modèle donnera des résultats différents selon les choix faits par le modélisateur !

→ A-t-on mis des biais dans le modèle ?

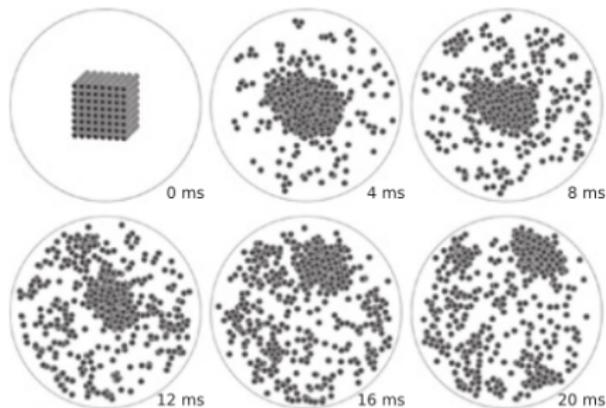
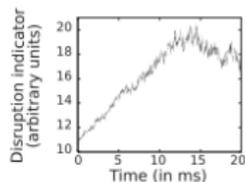
- Système **homogène** ? **hétérogène** ?
- Système **ordonné** ? **désordonné** ?
- Importance des **conditions initiales** !



# Utiliser un modèle en Physique : résultats et limites

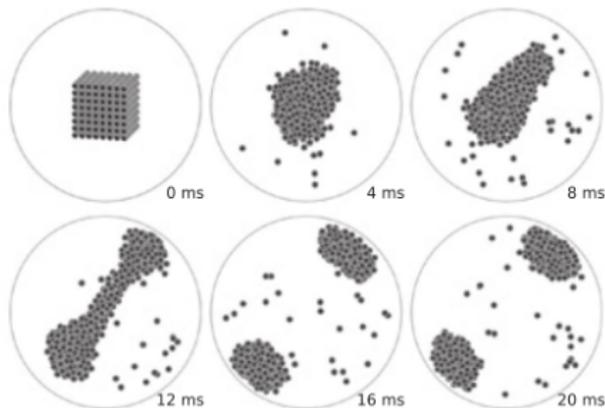
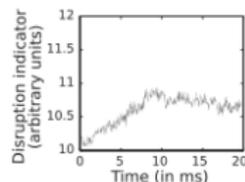
(a)

$$\Delta V_{\text{binding}} = 1.87 \text{ KJ.mol}^{-1}$$
$$\Delta V_{\text{unbinding}} = 3.61 \text{ KJ.mol}^{-1}$$



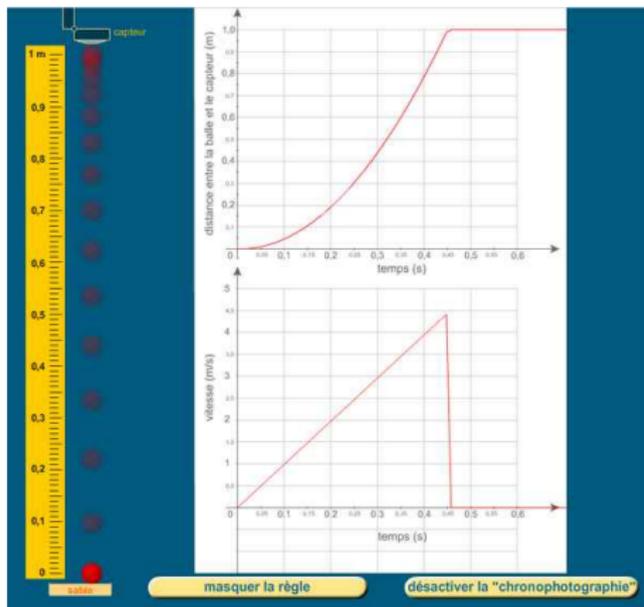
(b)

$$\Delta V_{\text{binding}} = 2.36 \text{ KJ.mol}^{-1}$$
$$\Delta V_{\text{unbinding}} = 4.85 \text{ KJ.mol}^{-1}$$



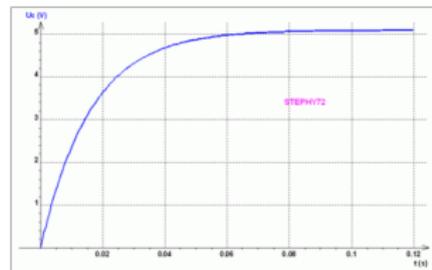
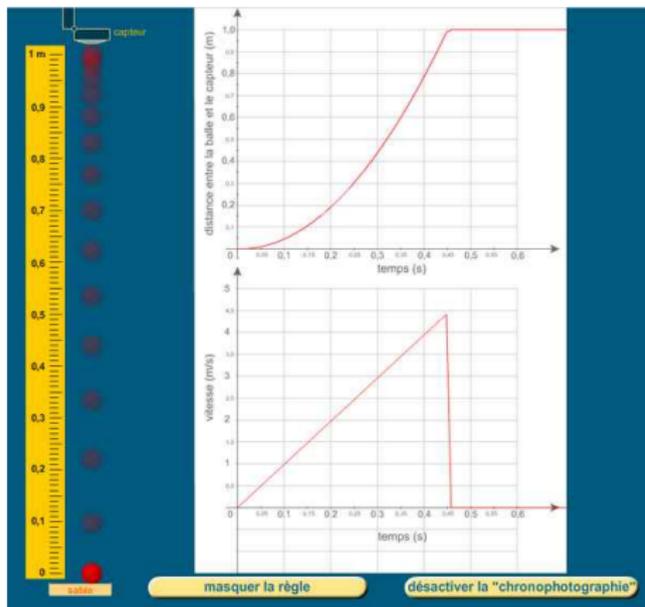
- Expérience : Est-ce satisfaisant ? → **Bouclage** : on revient au **modèle** !

# Utiliser un modèle en Physique : résultats et limites



- La bille chute et **accélère** par la pesanteur ...jusqu'à **l'infini** ?

# Utiliser un modèle en Physique : résultats et limites



- La bille chute et **accélère** par la pesanteur ...jusqu'à **l'infini** ?
- ... ou bien elle atteint une **vitesse limite** ?